

VALORACIÓN PRELIMINAR DE LA RETENCIÓN DE SEDIMENTOS POR HIDRÓFITAS EN CAUCES SECUNDARIOS DEL RÍO PARANÁ MEDIO

PRELIMINARY ASSESSMENT OF SEDIMENT RETENTION BY MACROPHYTES IN SECONDARY CHANNELS OF THE MIDDLE PARANÁ RIVER

Zuleica Y. Marchetti¹ y Carlos G. Ramonell¹

RESUMEN

La sedimentación de materiales finos en el sistema fluvial del Paraná, ha sido un proceso vinculado comúnmente con las inundaciones, siendo la sedimentación en el interior mismo de los cauces y el rol de las hidrófitas en este proceso, fenómenos recientemente sugeridos. Dos cauces secundarios del sistema fueron seleccionados con el objetivo de evaluar la superficie ocupada por las hidrófitas arraigadas, y su potencial efecto en los procesos de sedimentación. Las hidrófitas cubrieron entre un 6% y un 54% de esos cauces en los últimos 10 años. Cada 100 gramos de las especies más frecuentes (*Panicum elephantipes*, “canutillo” y *Polygonum ferrugineum*, “catay”), se registraron valores medios de 201 gr y 129 gr de sedimento, principalmente de limos y arcillas. Considerando las superficies totales ocupadas por hidrófitas y las cantidades atrapadas por unidad de superficie, se estimó una retención potencial de sedimentos de 1,8 y 9,1 toneladas por kilómetro de cauce, sólo en superficie y acumulados en un máximo de 17 meses. Complementariamente, tasas de sedimentación puntuales de hasta 3,8 mm/día fueron registradas en sitios vegetados del interior de los cursos de agua. Las velocidades del flujo medidas en los ensambles indicaron condiciones favorables para la sedimentación de finos. Estos primeros resultados evidencian un rol activo de las hidrófitas en la sedimentación intra-cauce en el sistema del río Paraná.

Palabras claves: sedimentación intra-cauce, vegetación acuática arraigada, río Paraná

ABSTRACT

Sedimentation of silts and clays in the Paraná River fluvial system has been a process associated to floods. Differently, sedimentation within channels themselves and the hydrophytes role in this process has been an aspect recently suggested. In order to evaluate the surface occupied by hydrophytes and their potential effects on sedimentation processes, two secondary channels of the system were studied. Near 6% and 54% of the channel surfaces were covered by hydrophytes during the last 10 years. Mean values of 201 gr and 129 gr of sediment, mainly silt and clay, were recorded by 100 gr of more frequent species (*Panicum elephantipes*, “canutillo”, and *Polygonum ferrugineum*, “catay”). From the total surface occupied by hydrophytes and the retained quantities of sediments by surface unit, a potential rate of retained sediment of 1.8 and 9.1 Tons/km of channel was estimated, just on the channel surface and during a maximum of 17 months. Furthermore, punctual sedimentation rates up to 3.8 mm/day were recorded in vegetated sites of the channels. Flow velocities measured into vegetation assemblages showed favorable conditions to silting of fine sediments. These first results evidence an active role of the hydrophytes in the within-channel sedimentation in this fluvial system.

Key words: in-channel sedimentation, rooted aquatic vegetation, Paraná River

INTRODUCCIÓN

El río Paraná constituye, en virtud de su descarga media anual (~17,000 m³/s) y del área de su cuenca de drenaje (2,6 millones de km²), el segundo río más importante en Sudamérica y se posiciona entre los diez mayores a nivel mundial, con los que comparte un patrón de cauce múltiple (o “anabranching”, Latrubesse 2008). El transporte de sedimentos en su cauce principal ha sido evaluado en 135 millones de toneladas/año (Amsler y Prendes 2000), de las cuales cerca del 80

% corresponden a limos y arcillas, que constituyen la carga de lavado de este sistema fluvial. Justamente, la sedimentación de estos tamaños finos en el tramo medio del río, aguas abajo de la confluencia del río Paraguay, ha sido un proceso tradicionalmente vinculado a las inundaciones de su planicie aluvial, así como a la transferencia de la carga de lavado desde los cauces a las lagunas de la planicie (Drago 2007, Amsler et al. 2007). Sólo recientemente unas pocas

¹ Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas – Universidad Nacional del Litoral (FICH - UNL). Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Paraje Universitario El Pozo, Ruta Nacional 168, Santa Fe, Argentina. Tel.: 054 342 4575245 # 152. zuleicayael@hotmail.com

contribuciones han considerado la sedimentación de limos y arcillas en el interior mismo de parte de los numerosos cauces que posee el sistema. Prendes et al. (2009) reportaron la acumulación de esos sedimentos en el lecho de un cauce secundario promovida por la ocurrencia de bajas velocidades y tensiones de corte de la corriente, en tanto que Ramonell et al. (2011, 2012) presentaron evidencias de tal acumulación en estrecha asociación con geoformas generadas en el interior de diversos cauces secundarios ("albardones de intra-cauce") y favorecida por la presencia de vegetación acuática arraigada.

Como cualquier otro ecosistema, las características y dinámica de los cuerpos de agua surgen de la interacción entre sus diferentes componentes, tanto bióticos como abióticos. Sin embargo, los fenómenos de sedimentación en el sistema fluvial del Paraná han sido abordados casi exclusivamente en función de las propiedades hidráulicas del flujo, sin considerar las particularidades biológicas de la vegetación (estacionalidad, superficie, estructura, etc.) más allá de su influencia como factor (deducido) de rugosidad. En tal sentido, la vegetación acuática (hidrófita) y especialmente las hidrófitas arraigadas, llegan a cubrir importantes superficies dentro de los cauces secundarios del tramo medio. Esta ocupación de las hidrófitas se corresponde con una densa red de tallos sumergidos dotados de diferentes estructuras anatómicas -vainas, ócreas, láminas, raíces adventicias, entre otras- que les confieren potencial no sólo para modificar las condiciones hidráulicas de los cauces, sino también para retener sedimentos en forma directa, un aspecto que no ha sido abordado con sistematicidad en el Paraná hasta el presente.

Localmente, la vegetación acuática del río Paraná Medio es conocida a partir de contribuciones realizadas principalmente en ambientes lénticos o de aguas quietas. Inventarios y aspectos inherentes a la biomasa, productividad y dinámica anual de la vegetación durante las fases de inundación/estiaje han sido reportados para diferentes lagunas de la planicie aluvial (Neiff, 1975, 1979; Lallana, 1980, 1981; Sabbatini et al. 1983, Sabbatini 1985, Sabbatini y Lallana 2007). En contraposición, los ambientes lóticos o de aguas corrientes constituyen sitios de características y dinámicas particulares, en muchos de los cuales la vegetación se desarrolla y persiste todo el año ejerciendo roles aún no considerados y/o cuantificados.

En este marco, el presente trabajo incluye los primeros resultados que evalúan el potencial de las hidrófitas arraigadas en su capacidad de atrapar o retener sedimentos en cauces secundarios/menores del río Paraná Medio. Para ello se plantearon tres objetivos específicos: 1- valorar la importancia espacio-temporal de los ensambles de hidrófitas dentro de tales cauces; 2- cuantificar la cantidad de sedimento adherido a las hidrófitas así como los depositados debajo de éstas, en el lecho de los cauces; y 3- comparar parámetros hidráulico-sedimentológicos básicos en sitios vegetados y libres de vegetación de los cauces.

MATERIALES Y MÉTODOS

Dos cauces menores conectados en sus embocaduras y desembocaduras con el cauce principal del Río Paraná, se seleccionaron para este estudio: los arroyos Chapetón y Tirapatrás (Fig. 1).

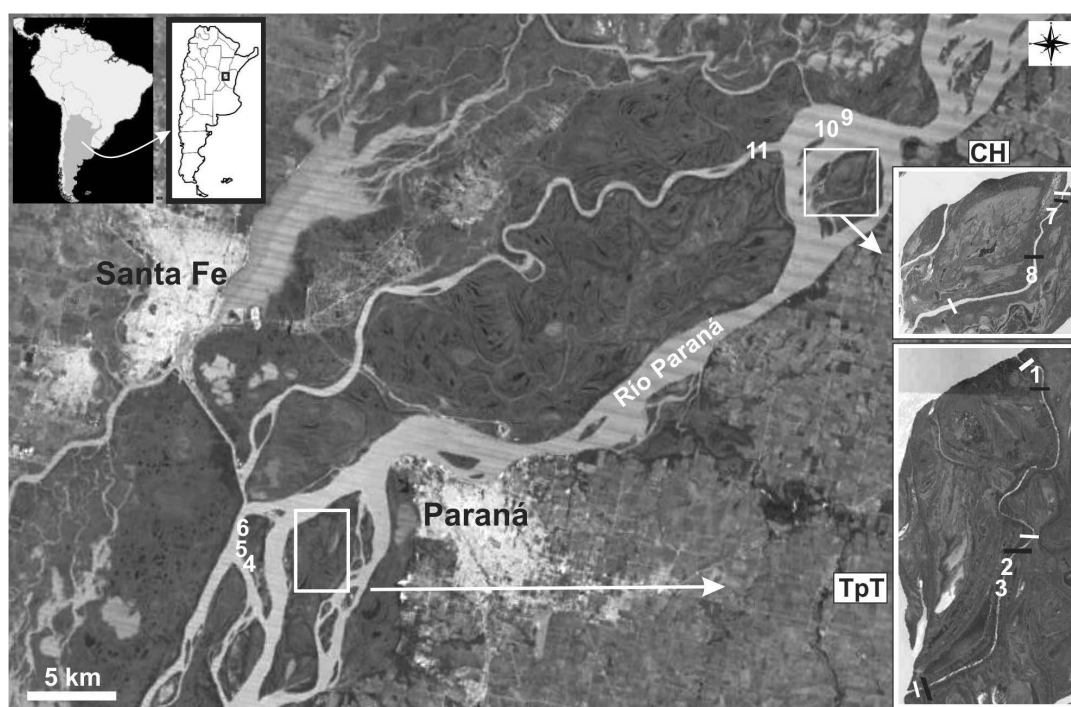


Figura 1. Ubicación de los arroyos Chapetón (CH) y Tirapatrás (TpT), próximos a las ciudades de Santa Fe (provincia de Santa Fe) y Paraná (Prov. de Entre Ríos, km 601 del río), indicando las secciones evaluadas en 2012 (blanco) y 2013 (negro). Los números señalan sitios en que se instalaron trampas de sedimentos.

Ambos son cauces de patrón recto -el segundo con algunas curvas de meandro-, con anchos medios actuales de 60 m y 20 m, respectivamente (1/3 y 2/3 inferiores a los de hace 40 años atrás). El A° Chapetón posee una longitud de 5,5 km, lecho de arenas medias con dunas como formas de fondo y caudales de 40 m³/s a 200 m³/s, medidos en aguas bajas y durante una crecida ordinaria, respectivamente. El A° Tirapatrás tiene 6,6 km de longitud, limos como material de fondo y caudales instantáneos extremos de 10 m³/s y 40 m³/s, evaluados en iguales situaciones hidrométricas que las del A° Chapetón.

Tanto la longitud y superficie de los ensambles de hidrófitas, así como la superficie de tales cauces, fueron cuantificadas a partir de imágenes de satélite de alta resolución exhibidas en Google Earth®, correspondientes a 8 años entre el 2002 y el 2013.

Los muestreos de hidrófitas y de parámetros hidráulicos se efectuaron durante 2 campañas (aguas medias de Julio de 2012 y aguas bajas de Febrero de 2013), en secciones ubicadas en cercanías de la embocadura, parte media y desembocadura de cada cauce secundario. En cada una de las secciones mencionadas se seleccionó un ensamble de hidrófitas homogéneo en su composición florística, en el cual se obtuvieron 3 muestras de vegetación de 0,25 m² cada una. Se evaluaron de esta forma, 3 ensambles (con 3 muestras de vegetación cada uno), en 3 secciones del A° Tirapatrás, y 2 ensambles (con igual número de muestras que el primer arroyo), en 2 secciones del A° Chapetón.

Asimismo, tanto en el interior de los ensambles de hidrófitas como en el centro de cada cauce (fuera de los ensambles) se procedió al registro de variables tales como profundidad y velocidad superficial de la corriente. Muestras de agua dentro y fuera de los ensambles de hidrófitas fueron colectadas además, a los efectos de evaluar las concentraciones de sedimento en suspensión. Dentro de los ensambles de hidrófitas se colectó una segunda muestra de agua luego de agitar enérgicamente la vegetación (20 golpes fuertes de remo sobre ca. 1 m² de superficie propinados durante algunos segundos), a fin de disponer de otra medida indicativa de los sedimentos adheridos a la vegetación acuática.

Las muestras de vegetación fueron lavadas en laboratorio obteniendo fracciones separadas del sedimento adherido y de biomasa fresca (libre de sedimento). El sedimento fue separado en sus fracciones finas y gruesas (en torno a los 62,5 µm), en tanto que la biomasa fue secada en estufa a 106° hasta peso constante. El resultado final del procesamiento permitió calcular el peso de sedimento adherido cada 100 gr de vegetación seca.

Complementariamente, se instalaron trampas de sedimentos en diferentes sitios de los cauces aludidos y otros próximos (y de mayor tamaño) del área, tanto en el interior de los ensambles de hidrófitas como en puntos cercanos (Fig. 1) fuera de éstos. Las trampas, de 15 cm de altura por 9 cm de diámetro,

fueron recuperadas luego de permanecer sumergidas durante 7 meses entre Febrero y Septiembre de 2013, período que comprendió una crecida ordinaria del río en el que se mantuvo en condición de desborde durante casi un mes.

Vale consignar que el grueso de las metodologías adoptadas para cuantificar el sedimento retenido por las hidrófitas fueron ideadas en el desarrollo de este estudio por carecerse de referencias en la literatura.

RESULTADOS

1. Ocupación espacio-temporal de hidrófitas en el interior de cauces secundarios

Aun considerando que los ensambles de hidrófitas son elementos comunes en los cauces secundarios y menores del sistema fluvial del río Paraná (Fig. 2), es de destacar que todavía persiste un vacío considerable en relación a diversos aspectos de su dinámica intrínseca y de la interacción con los cauces.

A partir de mediciones sobre imágenes de satélite de alta resolución correspondientes a 10 años del presente siglo, surge que entre el 4 % y el 70 % de las márgenes de los dos arroyos estudiados estuvieron colonizadas por hidrófitas en ese lapso (Fig. 3).

Los valores más frecuentes de ocupación de la vegetación dentro de ambos cauces son contrastantes (ca. 20 % en el A° Chapetón vs. 50 % en el Tirapatrás), un hecho probablemente vinculado a las características morfo-hidráulicas o de energía de cada cauce, reflejado en la disparidad de caudales medidos y en la composición hidro-sedimentológica de sus lechos (dunas de arena vs. sedimentos finos).

Las causas del descenso en la cobertura de hidrófitas (valores de cobertura cercanos al 5%) registrado en ambos cauces en las imágenes correspondientes a Septiembre de 2011 no están aún bien establecidas. No obstante ello, es de destacar la alta tasa de recuperación de los ensambles en los meses posteriores, los cuales cubrieron 4 meses después, cerca de un 20% en ambos cauces.

La consideración conjunta de la longitud de ribera colonizada y del ancho medio de los ensambles de hidrófitas, permitió valorar la superficie ocupada por éstos dentro de los cauces secundarios (Tabla 1). En tal sentido, se advierte que entre un 37% y 54% de la superficie del A° Tirapatrás estuvo cubierta por hidrófitas en 2013 y 2009. La superficie del A° Chapetón, presentó un 6 % y 10% de su superficie cubierta en el 2013 y 2002, respectivamente. Estas superficies son, al igual que los porcentajes de ribera colonizada, sumamente variables; como ejemplo de ello, cabe mencionar que el 70% de márgenes colonizadas por hidrófitas en el A° Tirapatrás en Septiembre de 2002 (Fig. 2), corresponde a una longitud de 9290 m lo cual considerando el ancho medio de los ensambles reportado en Tabla 1, eleva la ocupación espacial de las hidrófitas dentro de este cauce, hasta un 64 % de su superficie.

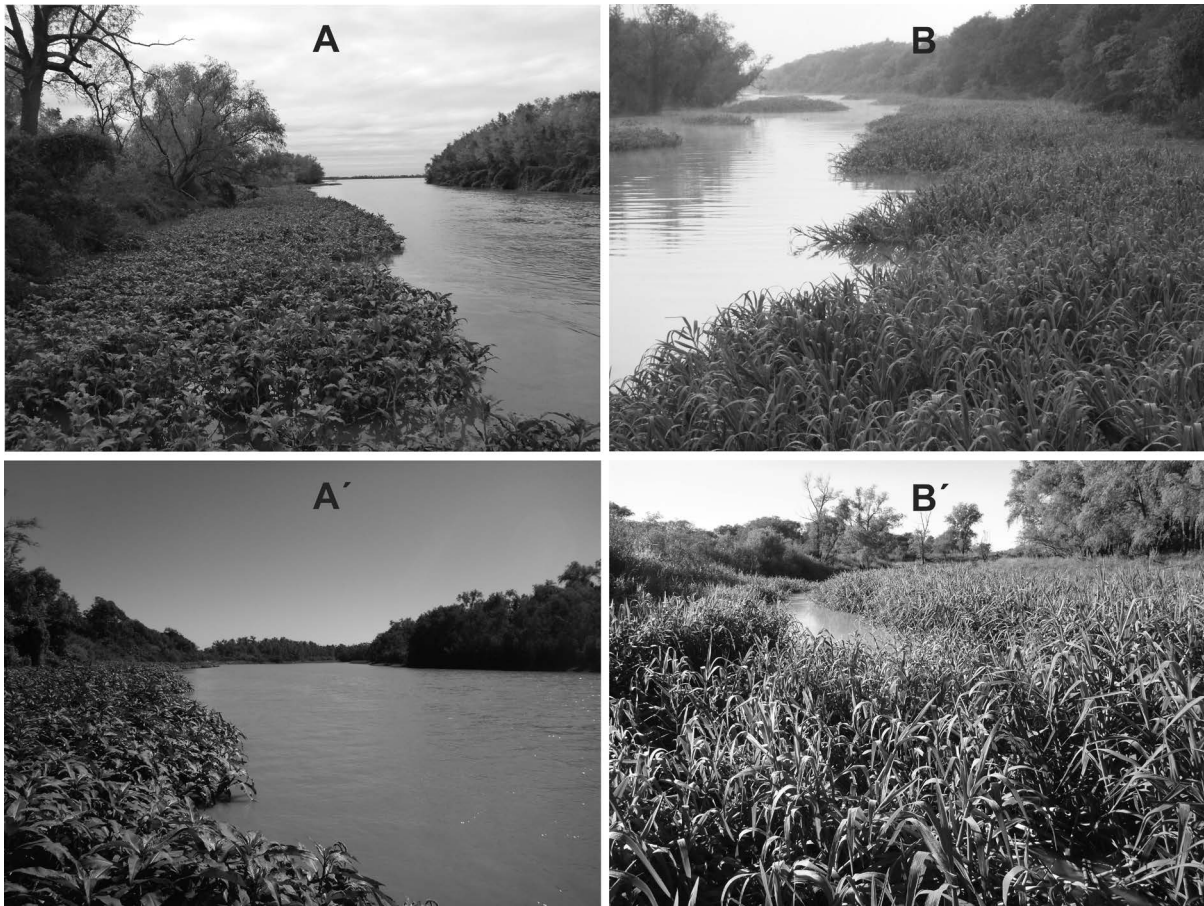


Figura 2. Ocupación espacial de hidrófitas en los arroyos Chapetón (A-A') y Tirapatrás (B-B') durante Julio de 2012 (invierno; A y B) y Febrero de 2013 (verano; A' y B').

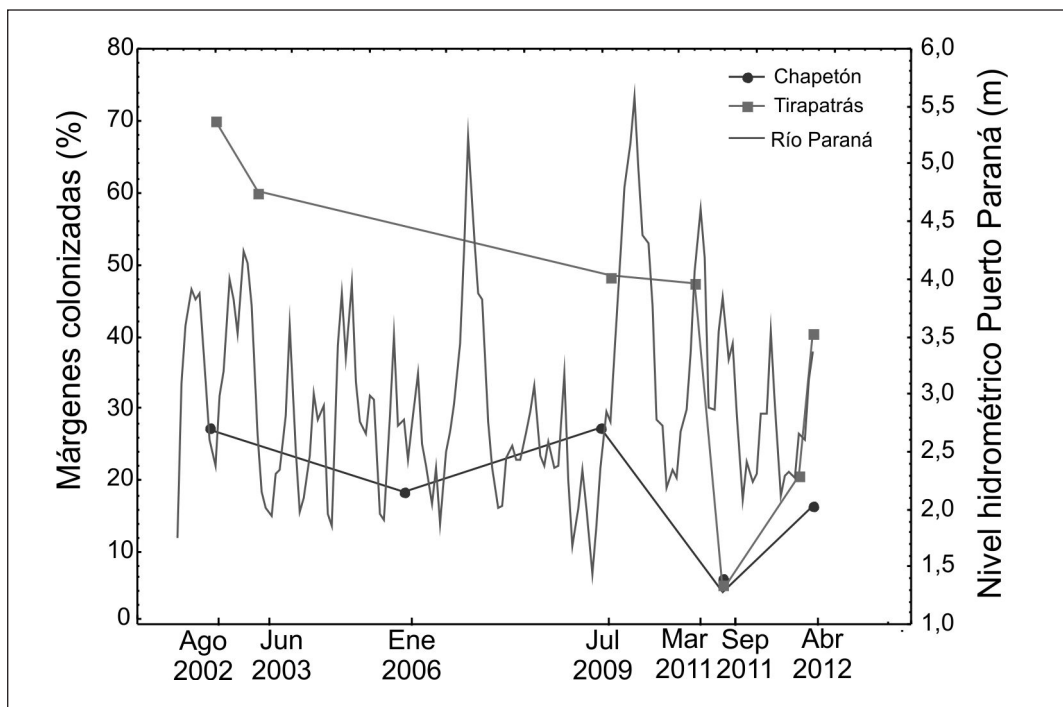


Figura 3. Porcentaje de márgenes colonizadas por hidrófitas en los arroyos Chapetón y Tirapatrás entre 2002 y 2012, y niveles hidrométricos registrados en el km 601 del río (nivel de desborde: ~ 4 m).

Tabla 1. Ocupación espacial de ensambles de hidrófitas en el interior de los arroyos Tirapatrás (TpT) y Chapetón (CH).

Ocupación espacial de hidrófitas	Cauces			
	TpT	CH	TpT	CH
	Abril de 2013		Septiembre de 2009	Agosto de 2002
Longitud de margen colonizada por hidrófitas (m)	5400	1800	6430	2980
Ancho medio de ensambles (m)	9	11	11	11
Superficie de cauces (km ²)	0,13	0,33	0,13	0,33
Superficie de ensambles (km ²)	0,048	0,019	0,070	0,032
Ocupación de hidrófitas (%)	37	6	54	10

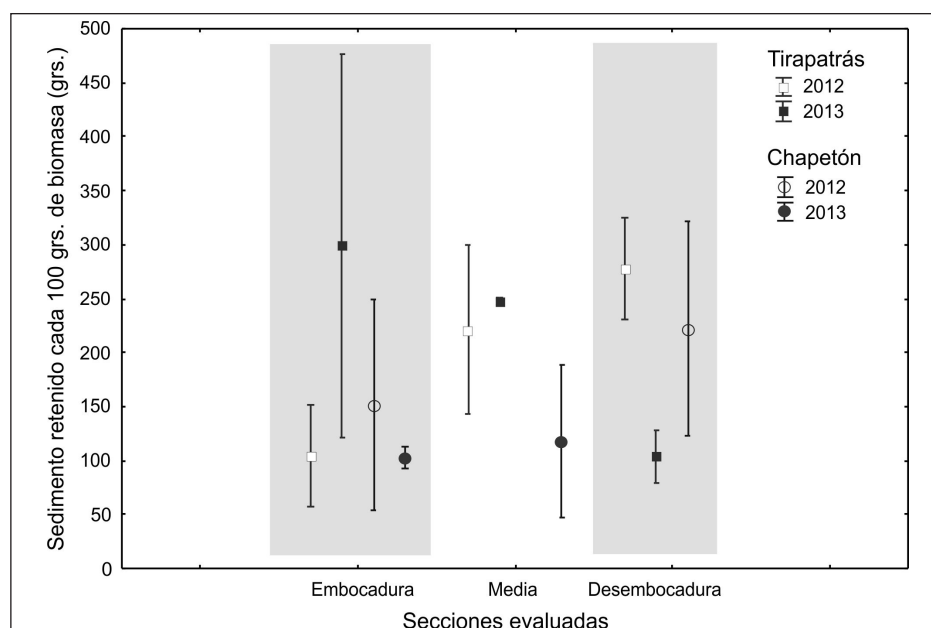
Tanto a partir de los escasos registros indicados en la Tabla 1, como de las sucesivas observaciones en el terreno, emerge que, si bien las mayores superficies ocupadas por hidrófitas se registran hacia las estaciones de crecimiento de la vegetación (primavera-verano en la región), áreas igualmente importantes permanecen cubiertas en los meses de otoño-invierno, en los que gran parte de la vegetación acuática de los ambientes leníticos de la planicie parece a causa de las bajas temperaturas. Esta permanencia de la vegetación acuática arraigada durante todo el año en el interior de los cauces secundarios indica que, sea cual fuere su efecto en la retención de sedimentos y la modificación de las condiciones hidráulicas, el mismo estaría presente durante todo el año.

2. Sedimentación asociada a los ensambles de hidrófitas

Siete especies de hidrófitas arraigadas fueron identificadas dentro de los cauces. Localmente estas especies son conocidas como canutillo (*Panicum elephantipes*, *Paspalum repens* e *Hymenachne am-*

plexicaulis), catay (*Polygonum ferrugineum*), capín (*Echinochloa crus-galli*, *E. polystachya*) y camalote (*Eichhornia azurea*). De las especies mencionadas, una de las de canutillo (*P. elephantipes*) y el catay (*P. ferrugineum*), fueron claramente dominantes formando, en la mayoría de los casos, ensambles mono-específicos. El total de muestras procesadas para tales especies mostró una capacidad similar en su potencial para la retención de sedimentos: 201 gr (± 112) y 129 gr (± 66) de sedimento retenido, por cada 100 gr de biomasa seca de *P. elephantipes* (n = 16) y *P. ferrugineum* (n = 10), respectivamente.

La Fig. 4 muestra que las hidrófitas mencionadas retienen varias veces su peso en sedimentos (entre 1 y 3 veces, en términos medios) por el atrape directo de sus estructuras anatómicas. Esta retención de sedimentos no presentó a priori un patrón homogéneo; la misma fue variable en las 2 campañas de registro así como entre los dos cauces y las secciones consideradas. A pesar de tal variabilidad, la retención fue, en términos medios, mayor hacia la desembocadura en los dos cauces durante el 2012, con una tendencia opuesta en el 2013, al menos para el A° Tirapatrás.

**Figura 4.** Valores medios y desvíos de los sedimentos adheridos a las hidrófitas en las secciones evaluadas de los arroyos Chapetón y Tirapatrás.

Los registros de campo efectuados en Febrero de 2013 evidenciaron en el A° Tirapatrás una retención media de sedimentos por m² de hidrófitas superior al doble de la registrada en el A° Chapetón (Tabla 2). Si se considera que dos meses después, el 37% y el 6% de la superficie de ambos arroyos estuvo cubierta por hidrófitas (Tabla 1), es posible estimar valores aproximados de retención de sedimentos para la superficie total de ambos cauces cubierta por hidrófitas en unas 60 Tn y 10 Tn, respectivamente, sólo en la parte más superficial de los ensambles.

Si bien se desconoce el lapso de tiempo exacto en el cual los sedimentos reportados en la Tabla 2 se adhirieron a las hidrófitas, dada la baja cobertura de éstas en ambos arroyos en Septiembre de 2011 (cerca del 4%, Fig. 3), es posible considerar la fecha mencionada, como el inicio de la retención/acumulación de sedimentos en las hidrófitas. Esto permite

asociar las cantidades de sedimentos reportados en la Tabla 2 a un período aproximado de 17 meses lo cual conduce a una tasa “especulativa” de retención de sedimentos suspendidos de, al menos, unos 0,1 mg/l y 0,005 mg/l en los niveles más superficiales de las hidrófitas en cada arroyo, asumiendo caudales más frecuentes de 10 m³/s y 50 m³/s en ellos, de acuerdo a la persistencia de niveles de aguas bajas en el lapso considerado.

La granulometría de los sedimentos adheridos a las hidrófitas fue predominantemente fina en ambos cauces (Tabla 3). Más del 90 % de los sedimentos retenidos por las hidrófitas en el A° Tirapatrás fueron limos y arcillas. En el A° Chapetón, en cambio, los sedimentos retenidos durante el 2012 mostraron entre un 14% y un 23% de arenas, en tanto que durante el 2013 tales tamaños fueron inferiores al 5 %.

Tabla 2. Superficie ocupada por los ensambles de hidrófitas dentro de los arroyos Tirapatrás (TpT) y Chapetón (CH) en 2013, y pesos real y potencial de sedimentos retenidos en la parte superficial de tales ensambles.

Hidrófitas-Sedimentos retenidos	Cauces	
	TpT	CH
Superficie de ensambles de hidrófitas (km ²)	0,048	0,019
Sedimento retenido por hidrófitas (kg/m ² ; valores medidos en niveles superficiales)	1,25	0,56
Total de sedimento potencialmente retenido (Tn)	60	10,64

Tabla 3. Fracciones mayores y menores a 62,5 µm de los sedimentos retenidos por hidrófitas en los arroyos Tirapatrás y Chapetón.

Secciones-Año / Sedimento retenido	A° Tirapatrás			A° Chapetón		
	> 62,5 µm [%]	< 62,5 µm [%]	Peso Total [gr]	> 62,5 µm [%]	< 62,5 µm [%]	Peso Total [gr]
Embocadura 2012	7	93	125	23	77	284,3
Embocadura 2013	2	98	523,6	2	98	138,4
Sección media 2012	2	98	325,8			
Sección media 2013	2	98	298,2	5	95	144,5
Embocadura 2012	3	97	366,9	14	86	478,5
Desembocadura 2013	4	96	113,9			

Parte de las trampas de sedimentos colocadas en los dos cauces analizados y otros mayores del área (sitios numerados en Fig. 1), fueron recuperadas después de 7 meses de permanecer instaladas en diferentes sitios de los cauces aludidos, con y sin ensambles de hidrófitas. A partir de las trampas recuperadas se constató que las cantidades sedimentadas colmataron la totalidad de las trampas y, en muchos

casos, superaron su altura (15 cm), acumulándose por encima de ésta varios centímetros extra. Las trampas acumularon principalmente sedimento fino, y sólo a fines comparativos puede destacarse que las cantidades de sedimento depositadas debajo de los ensambles de hidrófitas, son notablemente superiores a las retenidas por éstas en las estructuras anatómicas (tallos, hojas, raíces), al menos a nivel superficial según se indica en Tabla 2.

Tabla 4. Localización de trampas en el interior de cauces, y sedimento depositado durante 7 meses (Febrero a Septiembre de 2013, período que comprendió una crecida ordinaria del sistema con máximo en Julio).

Cauce (referencia en Fig. 1)	Contexto morfológico de instalación	Ubicación de la trampa, vegetación	Tamaño del sedimento depositado	Espesor de sedimento [mm]	Tasa de sedimentación [mm/día]
Chapetón (7)	Cercano a la margen	Intra-ensamble	Limo	790	3,8
Tirapatrás (1)	Cercano a la margen	Intra-ensamble	Limo	450	2,1
Tirapatrás (3)	Cercano a la margen	Intra-ensamble	Limo	190	0,9
Tirapatrás (2)	Cercano a la margen	Extra-Ensamble	Limo	50	0,2
Colastiné (11)	Cercano a la margen	Intra-ensamble	Limo	630	3,0
Paraná (9)	Superficie de banco central	Sauzal joven	Arena	600	2,9
Paraná (10)	Superficie de banco central	Sauzal joven	Arena limosa	710	3,4
Paraná (6)	Espira de meandro	Sauzal joven	Limo	110	0,5
Paraná (4)	Espira de meandro	Sauzal joven	Limo	90	0,4

3. Parámetros hidráulico-sedimentológicos en sitios vegetados y libres de vegetación

La velocidad de la corriente constituye el registro más contrastante entre sitios colonizados por hidrófitas y libres de éstas, llegando a tener valores nulos en el primer caso (Tablas 5 y 6). Por otro lado, como

se observa en las tablas mencionadas, las concentraciones de sedimento suspendido fueron mayores en el interior de las zonas vegetadas con relación a zonas libres de vegetación (evaluadas en el centro de los cauces), lo cual podría explicarse a partir de la progresiva incorporación de sedimentos finos desde ríos a cuerpos de agua quieta (Nemec, 1995).

Tabla 5. Valores promedio de velocidad superficial, concentración de sedimento suspendido y profundidad puntual registrados en el A° Tirapatrás dentro y fuera de las superficies vegetadas. E: embocadura, M: sección media, D: desembocadura, C: Cauce, I-E: intra-ensamble. *Registros obtenidos a 1 m de profundidad.

Variables / Secciones C		2012		2013	
		I-E (Agit.)	C	I-E (Agit.)	
Vel. (m/s)	E	0,5	0	0,6	0,02*
	M	0,5	0	0,2	0
	D	0,3	0	0,15	0,04*
Conc. (mg/l)	E	81	112 (1376)	170	159 (507)
	M	59	51 (3022)	96	120 (274)
	D	28,3	27 (1348)	79	106 (216)
Prof. (m)	E	3,6	3,2	1,3	1,5
	M	3,8	3,3	2	1,6
	D	4,4	2,6	2,8	2,7

Tabla 6. Valores promedios de velocidad superficial, concentración de sedimento suspendido y profundidad puntual registrados en el A° Chapetón dentro y fuera de las superficies ocupada por hidrófitas. E: embocadura, M: sección media, D: desembocadura, I-E: intra-ensamble. *Registros obtenidos a 1 m de profundidad.

Variables / Secciones C		2012		2013	
		I-E (Agit.)	C	I-E (Agit.)	
Vel. (m/s)	E	1	0,1*	0,7	0
	M/D	0,8	0	0,7	0,05*
Conc. (mg/l)	E	90	128 (2219)	78	151 (314)
	M/D	97	131 (1585)	74	185 (317)
Prof. (m)	E	5	4,3	3,9	2,1
	M/D	2,6	2,8	3	1,5

Las Tablas 5 y 6 contienen además, entre paréntesis, los valores promedio del sedimento desprendido de la vegetación luego de su agitación energética, expresados como concentración de sedimento suspendido. Estas cifras superan ampliamente (hasta 60 veces) las concentraciones medias en el agua sin agitar, lo que pone en evidencia que los sedimentos se adhieren paulatinamente a la vegetación en el interior de los ensambles, y se desprenderían en diferentes proporciones de acuerdo a disturbios directos de cierta magnitud (e.g. oleaje natural o provocado por embarcaciones).

En ambos casos, el sedimento desprendido de la vegetación luego de la agitación energética fue notablemente superior en el 2012 respecto del 2013.

Cabe señalar que este último fue un año en el que la carga de lavado transportada por el Paraná fue anómalamente baja en comparación a situaciones previas, de acuerdo a las relaciones de tal carga en este sistema y los aportes sólidos suministrados por el río Bermejo, y las correspondencias entre éstos con sus caudales/niveles hidrométricos (e.g., en la estación de aforos de El Colorado, Fig. 5; Alarcón et al., 2003; Amsler & Drago, 2009; Brea y Spalletti, 2010).

De todo lo anterior se desprende que la capacidad de retención de sedimentos de las hidrófitas estaría en estrecha relación con la dinámica de crecimiento de sus ensambles en el interior de los cauces, la magnitud de disturbios que puedan liberar sedimento ya retenido, así como también con la oferta anual de sedimentos del sistema del Paraná.

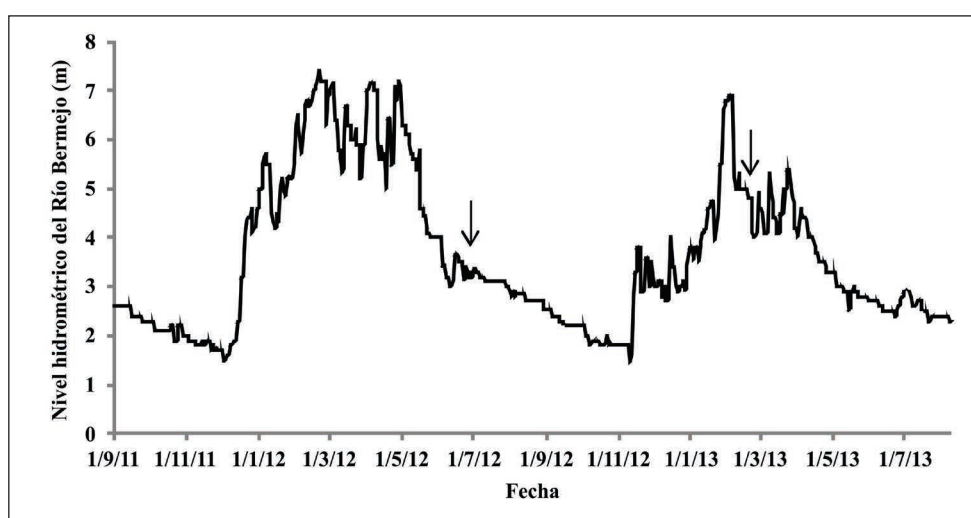


Figura 5. Niveles hidrométricos del río Bermejo registrados en la estación El Colorado (Prov. de Formosa), durante los años hidrológicos 2011-2012 y 2012-2013 (Fuente: Unidad Provincial Coordinadora del Agua, Gobierno de Formosa). Varios autores han demostrado la ajustada correspondencia entre niveles hidrométricos y concentraciones de sedimentos finos en el Bermejo, siendo el 2013 un año de exiguos aportes de carga de lavado. Las flechas señalan las fechas de las campañas de registro presentadas en este trabajo.

CONCLUSIONES

Estos primeros resultados aportan nueva información respecto del rol de la vegetación acuática en la dinámica de cauces secundarios del sistema del Río Paraná. Permiten justipreciar cuantitativamente el rol de las hidrófitas arraigadas en la retención de sedimentos, proceso que se manifestaría básicamente, en dos aspectos complementarios: las hidrófitas no sólo modificarían las condiciones hidráulicas en el interior de sus ensambles favoreciendo la sedimentación del material no adherido, sino que también retienen importantes cantidades de sedimento directamente en sus estructuras anatómicas. Al desprenderse este material adherido (por el oleaje, por ejemplo), permanecerá en un ambiente donde las condiciones hidráulicas, favorecerán su sedimentación.

Finalmente, resta enfatizar que mientras la sedimentación de materiales finos en el sistema fluvial del Paraná ha sido usualmente asociada a fenómenos

de desborde, la presente contribución cuantifica la sedimentación ocurrida en estados hidrométricos de aguas encauzadas, los cuales son los más frecuentes en el sistema fluvial.

Este trabajo representa una primera aproximación a la temática, por lo cual un mayor número de registros será necesario para comprender, en forma interdisciplinar y sistémica, el complejo proceso de sedimentación en el interior de cauces activos y el rol que las hidrófitas tienen en el mismo.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Ing. I. Cristina, del Centro de Informaciones Meteorológicas de la Universidad Nacional del Litoral (CIM – UNL), la información hidrométrica suministrada en diferentes etapas de este estudio. Esta contribución fue realizada con subsi-

dios de las Secretaría de Ciencia y Técnica de la UNL (proyectos CAI+D "Origen y características de cauces secundarios del río Paraná. Hacia una comprensión interdisciplinar del patrón de múltiples cauces en grandes sistemas aluviales" y CAI+D Orientado "Identificación a mediano plazo de situaciones de compromiso para el escurrimiento fluvial en cruces viales del sistema del río Paraná").

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alarcón, J.J., R. Szupiany, M. D. Montagnini, H. Gaudin, H. H. Prendes y M. L. Amsler. 2003. Evaluación del transporte de sedimentos en el tramo medio del río Paraná. *Primer Simposio Regional sobre Hidráulica de Ríos*. Ezeiza, Argentina. (En CD ROM).
- Amsler, M. L., y H. H. Prendes. 2000. Transporte de sedimentos y procesos fluviales asociados. En: *El Río Paraná en su tramo medio. Una contribución al conocimiento y prácticas ingenieriles en un gran río de llanura* (C. Paoli y M. Schreider, Eds.), Tomo 1: 233-306. Centro de Publicaciones de la Univ. Nac. del Litoral. Santa Fe.
- Amsler, M. L., E. C. Drago & A. R. Paira. 2007. Fluvial sediments: main channel and floodplain interrelationships. In: *The Middle Paraná River: Limnology of a Subtropical Wetland*. (M.H. Iriondo, J.C. Paggi and M.J. Parma Eds.), Springer-Verlag, Chapter 5: 113-142. Berlín.
- Amsler, M. L. & E. C. Drago. 2009. A review of the suspended sediment budget at the confluence of the Paraná and Paraguay Rivers. *Hydrological Processes*, 22 (23): 3230–3235.
- Brea, J.D. y P. Spalletti. 2010. Generación y transporte de sedimentos en la Cuenca Binacional del Río Bermejo. Caracterización y análisis de los procesos intervinientes. COBINABE, Buenos Aires, 230 pp.
- Drago, E.C. 2007. The physical dynamics of the river-lake floodplain system. In: *The Middle Paraná River: Limnology of a Subtropical Wetland*. (M.H. Iriondo, J.C. Paggi and M.J. Parma Eds.). Springer-Verlag, Chapter 4. pp 83-119. Berlín.
- Lallana, V.H. 1980. Productividad de *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms. en una laguna isleña cuenca del río Paraná Medio. II. Biomasa y dinámica de la población. *Ecología* (Argentina) 5:1–16.
- Lallana, V.H. 1981. Productividad de *Eichhornia crassipes* (Pontederiaceae) en una laguna isleña de la cuenca del río Paraná medio. I. Análisis del crecimiento. *Bol Soc Arg Bot* 20:99–107.
- Latrubesse, E.M. 2008. Patterns of anabranching channels: the ultimate end-member adjustment of mega rivers", *Geomorphology*, 101:130–145.
- Neiff, J.J. 1975. Fluctuaciones anuales en la composición fitocenótica y biomasa de la hidrofitia en lagunas isleñas del Paraná medio. *Ecosur* 2(4):153–183.
- Neiff, J.J. (1979). Fluctuaciones de la vegetación acuática en ambientes del valle de inundación del Paraná medio. *Physis* (Buenos Aires) B 38:41–53.
- Nemec, W. 1995. The dynamics of deltaic suspension plumes. In: *Geology of Deltas*. M.N. OTI & G. Postma. Balkea, Rotterdam. 315 pp.
- Prendes, H. H., J. Huespe y S. Mangini. 2009. El mantenimiento del acceso fluvial al puerto de Barranqueras. Cuarto Simposio Regional sobre Hidráulica de Ríos, CD de Trabajos. Salta, 2009.
- Ramonell, C. G., R. N. Szupiany, E. M. Latrubesse, M. García, M. S. Pereira, M. G. Gallego, Z. Y. Marchetti, E. D. Cafaro, A. R. Paira, F. Latosinski, A. C. Bosisio y G. Torres. 2011. Procesos de formación del río Paraná Medio. Nuevos paradigmas para su estudio. Quinto Simp. Reg. sobre Hidráulica de Ríos, CD de Trabajos. Santiago del Estero.
- Ramonell, C.G., Z. Y. Marchetti y M. S. Pereira. 2012. Albardones de intracauce: geoformas conspicuas de la planicie aluvial del Río Paraná. V Congreso Argentino de Cuaternario y Geomorfología, Acta de Resúmenes: 126-127. Río Cuarto, Córdoba.
- Sabattini, R.A. & V. H. Lallana. 2007. Aquatic Macrophytes. In: *The Middle Paraná River: Limnology of a Subtropical Wetland*. (M.H. Iriondo, J.C. Paggi and M.J. Parma Eds.). Springer-Verlag, Chapter 8. pp 205-226. Berlín.
- Sabattini, R.A. (1985). Dinámica y productividad de *Paspalum repens* ("canutillo") en un ambiente lenítico del valle aluvial del río Paraná. *Rev Hydrobiol Trop* 18(1):3–11.
- Sabattini, R.A., V.H. Lallana y M. C. Marta. 1983. Inventario y biomasa de plantas acuáticas en un tramo del valle aluvial del río Paraná Medio. *Rev Asoc Cienc Nat Litoral* 14(2):179–191.